

0- 778703

На правах рукописи

САБИТОВ ЛИНАР САЛИХЗАНОВИЧ

**СОЕДИНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА**

Специальность 05.23.01 – “Строительные конструкции, здания и сооружения”

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Казань, 2009

Работа выполнена на кафедре металлических конструкций и испытания сооружений ФГОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Кузнецов Иван Леонидович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Михайлов Виталий Витальевич

кандидат технических наук, доцент  
Актуганов Анатолий Николаевич

Ведущая организация: ГУП «Татинвестгражданпроект»,  
г. Казань

Защита состоится «6» октября 2009 г. в 15.00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1, в ауд. 3 - 203 (зал заседания Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Автореферат диссертации размещен на официальном сайте университета: <http://www.kgasu.ru>

Автореферат разослан «1» сентября 2009 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000547996

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор

Л.А. Абдрахманова

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы:** Быстрые темпы развития энергетики, связи, телекоммуникаций и других отраслей народного хозяйства способствуют изготовлению стальных конструкций с применением круглых труб, обладающих рядом конструкционных качеств, которые обеспечивают уменьшение расхода стали, снижают величину ветровой нагрузки, повышают коррозионную стойкость. К таким конструкциям можно отнести башни сотовой связи, опоры городского освещения, опоры контактных сетей электротранспорта, опоры рекламных конструкций, опоры для светосигнального оборудования (светофоры) и др.

Стремление к дальнейшему снижению массы трубчатых конструкций приводит к необходимости применения в их элементах труб разного диаметра. Использование в сечениях конструкций труб разного диаметра, естественно, ставит вопрос о разработке эффективных узлов их соединения. В настоящее время в практике строительства широко используются соединения с переходными деталями, фланцевые, телескопические, комбинированные и другие узлы соединения труб разного диаметра. Опыт применения данных соединений указывает на их недостатки, заключающиеся в ограниченном применении по соотношению диаметров соединяемых труб, повышенном расходе стали, значительной трудоёмкости выполнения таких соединений, недостаточной прочности и повышенной деформативности. Поэтому решение вопросов, связанных с обеспечением дальнейшей эффективности соединений труб разного диаметра, является актуальной задачей.

### **Цель и задачи работы:**

**Целью** диссертационной работы является разработка и исследование новых типов соединений стальных труб разного диаметра в конструкциях, работающих преимущественно на поперечный изгиб.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- выполнить анализ конструктивных решений узловых соединений труб разного диаметра и разработать новые более эффективные их варианты;
- разработать аналитико-численную методику определения напряженно-деформированного состояния (НДС) узловых соединений труб разного диаметра;
- численно и экспериментально исследовать НДС новых узловых соединений труб разного диаметра;
- дать сравнительную технико-экономическую оценку новых узловых соединений и практические рекомендации по их расчёту и конструированию.

### **Научная новизна работы состоит в следующем:**

- выполнена систематизация опыта применения узловых соединений труб разного диаметра и разработаны новые узловые соединения комбинированного типа, защищённые патентами РФ;
- впервые разработана аналитико-численная методика определения НДС телескопических соединений труб, реализованная в программе «RASSTRUB-07»;
- выполнен анализ НДС и определена рациональная величина посадки труб при телескопическом их соединении, находящаяся в пределах  $2-2.3d$ , где  $d$  – диаметр меньшей трубы;

- численно и экспериментально изучено НДС узлов соединения труб с различными видами их креплений.

**Достоверность результатов:** Степень достоверности обеспечена проведением исследований с применением научно-обоснованных методик, тарировкой приборов и оборудования. Результаты оценки прочности по предложенной методике подтверждены экспериментально на фрагментах узлов опор освещения, а также расчётом с использованием лицензионных программ.

**Практическая значимость:**

- разработана программа «RASSTRUB-07» для определения компонент НДС узловых соединений труб разного диаметра;
- предложены новые эффективные виды комбинированных соединений труб разного диаметра, реализованные в опорах для светосигнального оборудования, в опорах контактных сетей электротранспорта, в рекламных конструкциях и др.;
- проведена технико-экономическая оценка эффективности предлагаемых вариантов узловых соединений;
- даны практические рекомендации по расчёту узловых соединений труб разного диаметра.

**Реализация результатов исследований:**

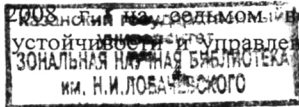
Реализация результатов исследований осуществлялась при расчете и конструировании опор освещения и контактной сети троллейбуса (х/д № 22/48-04 «Исследование несущей способности унифицированных опор освещения и контактной сети троллейбуса»), опор для светосигнального оборудования (х/д 45с от 22.08.07 «Отчет по результатам исследования несущей способности и разработке конструктивного решения опоры для светосигнального оборудования г. Казань»).

**На защиту выносятся:**

- обзор и систематизация опыта применения узловых соединений стальных труб разного диаметра;
- аналитико-численная методика определения НДС узловых телескопических соединений труб разного диаметра, реализованная в программе «RASSTRUB-07»;
- новые конструктивные решения узлов соединений труб разного диаметра комбинированного типа;
- численные и экспериментальные исследования НДС соединений труб разного диаметра, уточняющие их действительную работу;
- рекомендации по расчёту и конструированию предлагаемых узлов соединений труб разного диаметра.

**Апробация работы:**

Основные результаты выполненных исследований доложены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава КГАСУ 2006-2009 годов, на 5-й и 7-й международных научно-технических конференциях «Эффективные строительные конструкции: теория и практика» г. Пенза, в 2006 и 2008г. соответственно, на республиканском конкурсе научных работ студентов и аспирантов на соискание премии Н.И.Лобачевского, г. Казань, КГУ им В.И. Ульянова - Ленина в 2008г. и на всероссийском семинаре по аналитической механике, устойчивости и управлению движением, посвященном





столетию со дня рождения профессора Аминова М.Ш. г. Казань, КГТУ им. А.Н.Туполева в 2008 году, на международной научно-практической конференции "Строительство - 2008" г. Ростов-на-Дону, РГСУ в 2008 году, на VII международной конференции "Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения" СПбГПУ в 2008 году.

#### **Публикации:**

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 10 статей (в журналах по списку ВАК 2 статьи), 2 тезиса к докладам, новизна технических решений подтверждена 3 патентами РФ: №2288399 «Узел соединения труб», № 2237268 «Способ соединения труб разного диаметра», решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2008121786/06 «Узел соединения труб разного диаметра».

#### **Структура и объем диссертации:**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и 4-х приложений. Работа изложена на 159 листах машинописного текста, содержит 3 таблицы, 93 рисунка в виде графиков, схем, фотографий. Список литературы включает 145 наименований.

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований.

**В первой главе** описан проведённый анализ опыта применения конструкций из труб, используемых при строительстве башен, мачт, опор контактных сетей электротранспорта, рекламных конструкций и др. Показано, что их эффективность во многом определяется решением узловых соединений, особенно при использовании труб разного диаметра. В совершенствовании конструкций из труб и их соединений отмечена значительная роль работ учёных: Соколова А.Г., Кузнецова С.Г., Муханова К.К., Савицкого Г.А., Бирюлева В.В., Бажанова А.В., Шафрай С.Д., Катюшина В.В., Силенко В.П., Олькова Я.И., Трубникова В.И., Василенко П.К., Кузнецова И.Л., Аксанова А.В., Биргера И.А., Иоселевича Г.Б., Гарибова Г.С., Голденберга Л.И., Полушкина Ю.А., Ефименко В.И., Калёнова В.В., Кантария С.Н., Кикина А.И., Санжаровского Р.С., Трулль В.А., Марабаева Н.Л., Мельникова Н.П., Мурашко Н.Н., Муханова **В.В.**, Подольского В.И., Симонова Л.И., Солодарь М.Б., Ильясевича С.А., Сыркова А.В., Трофимова В.И., Гуркина Ю.И. и др. Исследованием установлено, что в современном строительстве используются различные типы соединений труб разного диаметра, которые можно классифицировать на четыре основные группы (Рис.1), при этом каждая группа соединений имеет свои преимущества и недостатки.

В соединениях первой группы, с использованием сварки, прочность и деформативность узла обеспечиваются кольцевым сварным швом и толщиной фланца. Поэтому при реальном проектировании завышается диаметр труб или устраиваются дополнительные ребра жесткости, что приводит к увеличению их массы и трудоёмкости. При креплении фланцев на болтах возникает необходимость использования стали с гарантированной прочностью в направлении толщины проката и выполнение специальных технологических операций по исключению «грибовидности» фланцев в процессе сварки. Телескопические

соединения второй группы ограничены в применении соотношением диаметров применяемых труб, что также не позволяет снизить их массу. Соединения труб разного диаметра посредством конической вставки применимы в основном для стыков труб большого диаметра при относительно малых толщинах стыкуемых элементов. Такой стык, представляющий собой сопряжение тонкостенных оболочек разного диаметра, требует обеспечения местной устойчивости, что приводит к ограничению высоты вставки и использованию усиливающих манжет. Соединения комбинированного типа включают концы труб, вставленные друг в друга, соединенные на сварке при помощи торцевых пластин и продольных рёбер, вставленных в прорези труб большего диаметра. Такая конструкция узла приводит к повышенному расходу стали и большой длине сварных швов.

Исходя из проведённого анализа опыта применения соединений труб разного диаметра, сформулированы цели и задачи исследования.

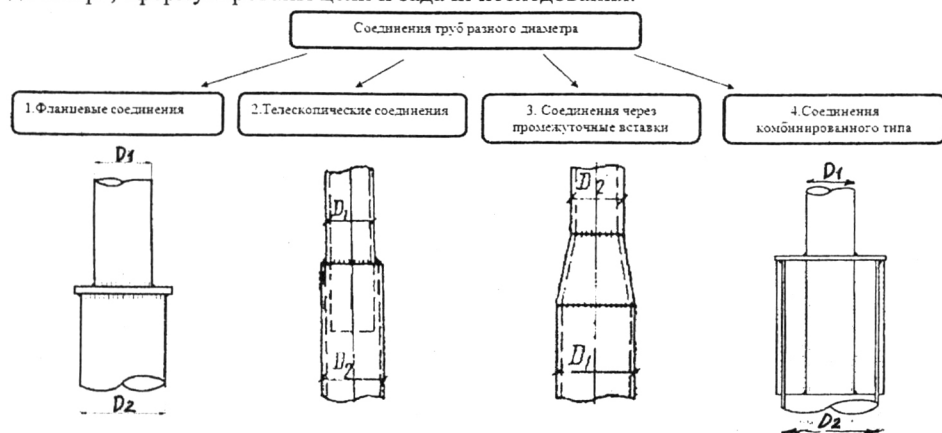


Рис.1 Классификация соединений труб разного диаметра в зависимости от конструктивного решения

Во второй главе изложена аналитико-численная методика определения НДС соединений труб разного диаметра. Рассматривается равновесие системы двух вертикальных цилиндрических труб (Рис.2), вставленных друг в друга так, что в первую цилиндрическую трубу толщиной  $H_1$ , радиуса  $R_1$  и длиной  $l_2$  запрессована другая труба толщиной  $H_3$ , радиуса  $R_3 = R_1 - (H_1 + H_2)/2$  и длиной  $(l_3 - l_1)$ . У рассматриваемой конструкции нижний край ( $x=0$ ) заделан, верхний край ( $x=l_3$ ) закрыт жёсткой диафрагмой, к которой приложены вертикальная сжимающая сила  $P^*$  и изгибающий момент  $M^*$ , а сама конструкция находится под действием собственного веса. Считаем, что упругие константы труб  $E_1=E_3=E$  (модули упругости),  $\nu_1=\nu_2=\nu$  (коэффициенты Пуассона) заданы.

Поставленная задача решается при следующих допущениях. Конструкция узла рассматривается как составная, состоящая из цилиндрических оболочек: в области  $0 \leq x \leq l_1$  - однослойной; в  $l_1 \leq x \leq l_2$  - двухслойной, причём слои в этой области работают совместно без скольжения; в области  $l_2 \leq x \leq l_3$  - однослойной. При построении модели данной задачи во всех трёх областях в целом принималась

гипотеза недеформируемых нормалей. В силу этого условия контакта двух труб в области  $l_1 \leq x \leq l_2$  выполняются автоматически.

Напряжения в слоях цилиндрических труб:

$$\sigma_x^{(j)} = \frac{E}{1-\nu^2} [(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) + z(\partial l_1 + \nu\partial l_2)], \sigma_\theta^{(j)} = \frac{E}{1-\nu^2} [(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) + z(\partial l_2 + \nu\partial l_1)], \quad (1)$$

$$\tau_{x\theta} = G(\varepsilon + z\tau).$$

Уравнения равновесия i-ой трубы:

$$\frac{\partial T_1}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial S}{\partial \theta} = p, \quad \frac{1}{R} \frac{\partial T_2}{\partial \theta} + \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{Q_2}{R} = 0, \quad -\frac{T_2}{R} + \frac{\partial Q_1}{\partial x} + \frac{\partial Q_2}{R \partial \theta} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial H}{\partial \theta} = Q_1, \quad \frac{1}{R} \frac{\partial M_2}{\partial \theta} + \frac{\partial H}{\partial x} = Q_2.$$

Соотношения упругости:

$$\begin{aligned} T_1 &= C(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) + k(\partial l_1 + \nu\partial l_2), \quad T_2 = C(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) + k(\partial l_2 + \nu\partial l_1), \\ S &= C_6\omega + k_6\partial l_{12}, \quad M_1 = D(\partial l_1 + \nu\partial l_2) + k(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2), \\ M_2 &= D(\partial l_2 + \nu\partial l_1) + k(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1), \quad H = D_6\tau + k_6\omega. \end{aligned} \quad (3)$$

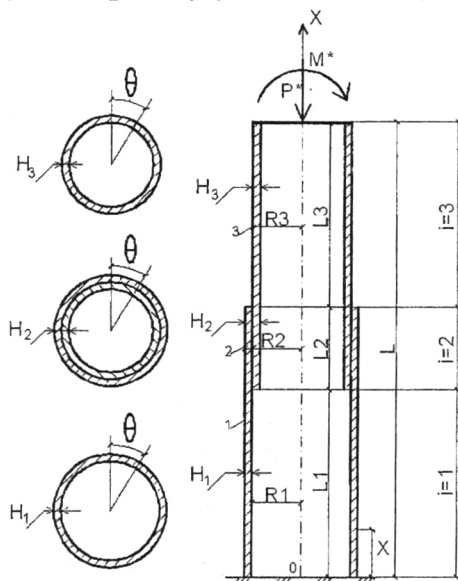


Рис.2 Расчётная схема соединения труб разного диаметра

При выполнении расчёта по безмоментной теории и проведении асимптотического интегрирования разрешающих уравнений для каждой области получено общее решение рассматриваемой задачи. Постоянные интегрирования задачи были определены из условий на краях при  $x=0$ ,  $x=l_3$  и упругих стыковых областей в точках при  $x=l_1$  и  $x=l_2$ . После определения постоянных интегрирования

получены расчётные формулы (4): для определения перемещений  $u_i, v_i, w_i$ , усилий  $T_1^{(i)}, T_2^{(i)}$ , изгибающих моментов  $M_1^{(i)}, M_2^{(i)}$ , перерезывающего усилия  $Q_1^{(i)}$  и напряжений  $\sigma_x^{(i)}, \sigma_\theta^{(i)}, \tau_{\theta}^{(i)}$  в соответствующих областях  $0 \leq x \leq l_1, l_1 \leq x \leq l_2, l_2 \leq x \leq l_3$  при  $i = 1, 2, 3$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} u_i = [u_{i1} + u_{i2} \bar{x} + u_{i3} \bar{x}^2 + (u_{i4} + u_{i5} \bar{x}) \cos \theta] H_1; \\ v_i = (v_{i1} + v_{i2} \bar{x} + v_{i3} \bar{x}^2) H_1 \sin \theta; \\ w_i = [w_{i1} + w_{i2} \bar{x} + \varphi_{0,1}^{(i)}(\bar{x}) + (w_{i3} + w_{i4} \bar{x} + w_{i5} \bar{x}^2 + \varphi_{0,2}^{(i)}(\bar{x})) \cos \theta] H_1; \\ \\ T_1^{(i)} = (t_{i1} + t_{i2} \bar{x} + t_{i3} \cos \theta) E H_1; \\ T_2^{(i)} = h_i [\varphi_{0,1}^{(i)}(\bar{x}) + \varphi_{0,2}^{(i)}(\bar{x}) \cos \theta] E H_1; \\ M_1^{(i)} = [\varphi_{2,1}^{(i)}(\bar{x}) + \varphi_{2,2}^{(i)}(\bar{x}) \cos \theta] M_{1i} E H_1^2; \\ M_2^{(i)} = \nu M_1^{(i)}; \\ Q_1^{(i)} = Q_i^{(i)} [\varphi_{3,1}^{(i)}(\bar{x}) + \varphi_{3,2}^{(i)}(\bar{x})] E H_1; \\ \\ \sigma_x^{(i)} = \frac{h_1}{h_i} \left\{ (t_{i1} + t_{i2} \bar{x} + t_{i3} \cos \theta) + 12 z_i \frac{h_1^2}{h_i^2} M_{1i} (\varphi_{2,1}^{(i)}(\bar{x}) + \varphi_{2,2}^{(i)}(\bar{x}) \cos \theta) \right\} E; \\ \sigma_\theta^{(i)} = \frac{h_1}{h_i} \left\{ h_i (\varphi_{0,1}^{(i)}(\bar{x}) + \varphi_{0,2}^{(i)}(\bar{x}) \cos \theta) + 12 z_i \frac{h_1^2}{h_i^2} M_{1i} (\varphi_{2,1}^{(i)}(\bar{x}) + \varphi_{2,2}^{(i)}(\bar{x}) \cos \theta) \right\} E; \\ \tau_{x\theta}^{(i)} = \gamma_i [\tau_{i1} + \tau_{i2} \bar{x} + z_i \tau_{i3} \varphi_{1,2}^{(i)}(\bar{x})] E \sin \theta. \end{array} \right. \quad (4)$$

В выражениях (4) введены следующие обозначения (5):

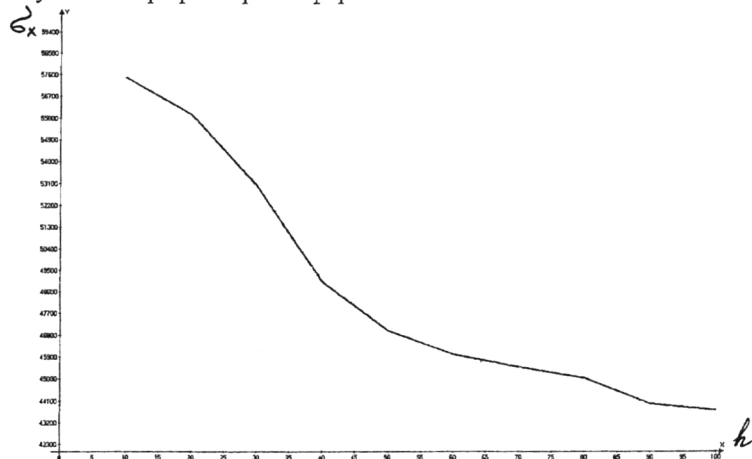
$$\begin{aligned} M_{11} &= -\frac{h_1^2 \beta_1^2}{6(1-\nu^2)l_{13}^2}; \quad M_{12} = -\frac{h_2^3 \beta_2^2}{6(1-\nu^2)l_{13}^2 h_1^2}; \quad M_{13} = -\frac{h_3^3 \beta_3^2}{6(1-\nu^2)l_{13}^2 h_1^2}; \quad (5) \\ Q_{11} &= -\frac{h_1 \beta_1}{l_{13}} M_{11}; \quad Q_{12} = -\frac{\beta_2 h_1^2}{l_{13}} M_{12}; \quad Q_{13} = -\frac{\beta_3 h_1^2}{l_{13}} M_{13}, \quad z_i = \frac{z}{H_i}. \end{aligned}$$

Следует отметить, что предлагаемая методика расчёта НДС применима при выполнении условия  $\sqrt[4]{3(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{L}{R} \frac{L}{H}} > 3$ , поскольку постановка задачи исключает влияние краевых моментов, т.е. оболочки считаются длинными.

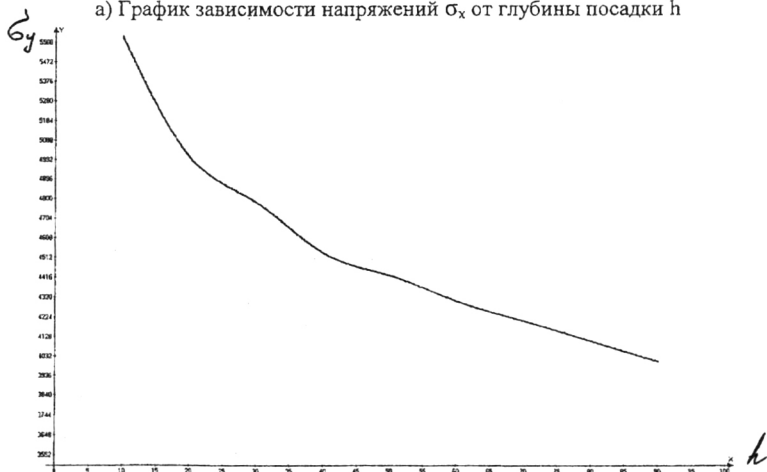
Для практических расчётов напряжённо — деформированного состояния соединения труб разного диаметра согласно полученным выражениям (4)

разработана программа «RASSTRUB – 07» для ЭВМ. Блок-схема программы приведена на рис.4.

Сравнительные расчёты НДС на примере соединения двухзвеньевой опоры, выполненные по разработанной программе «RASSTRUB – 07» и по известным программам, реализующим метод конечных элементов (КЭ), показали хорошую сходимость результатов. В рассматриваемых примерах расхождения составляли величину 7%. При этом, увеличивая число КЭ в расчётах по известным программным комплексам, эти расхождения уменьшались до 3-4%. Таким образом, отмечается, что разработанная программа существенно упрощает ввод исходных данных, в то время как расчёты с использованием метода КЭ требуют в каждом случае выбора размеров и формы конечного элемента.



а) График зависимости напряжений  $\sigma_x$  от глубины посадки  $h$



б) График зависимости напряжений  $\sigma_y$  от глубины посадки  $h$

Рис.3. Графики зависимости внутренних напряжений от глубины посадки одной трубы в другую полученные на программе «RASSTRUB-07»

**Ввод исходных данных:**  $RR1$  – радиус первой трубы,  $RR2=RR1$  радиус второй трубы,  $HR2=HR1+HR2$  – толщина второй трубы,  $LD3$  – длина всей конструкции,  $LD1$  – длина первой трубы,  $LD2$  – расстояние от  $x=0$  до  $LD2$ ,  $P=P0$  – сжимающая сила,  $E$  – модуль упругости,  $R$  – удельный вес

**Вывод исходных данных:**  $RR1$  – радиус первой трубы,  $HR1$  – толщина первой трубы,  $HR3$  – толщина третьей трубы,  $RR2=RR1$  – радиус второй трубы,  $HR2=HR1+HR2$  – толщина второй трубы,  $LD3$  – длина всей конструкции,  $LD1$  – длина первой трубы,  $LD2$  – расстояние от  $x=0$  до  $x=LD2$ ,  $P=P0$  – сжимающая сила,  $E$  – модуль упругости,  $R0$  –

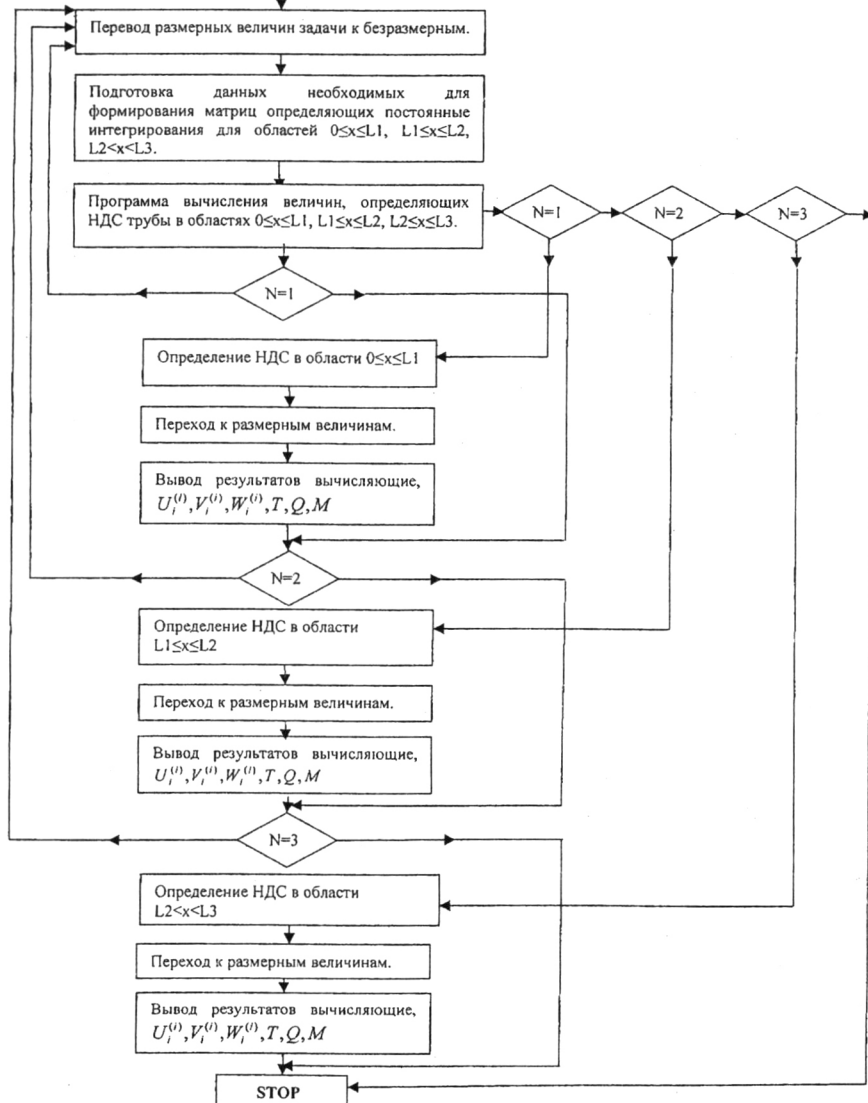
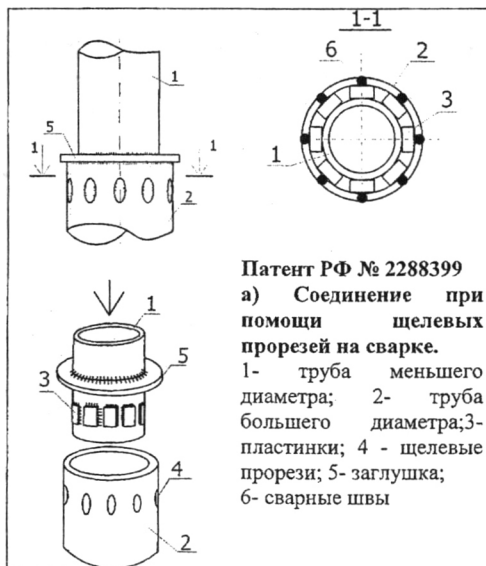


Рис 4. Блок – схема программы «RASSTRUB – 07»



Патент РФ № 2288399

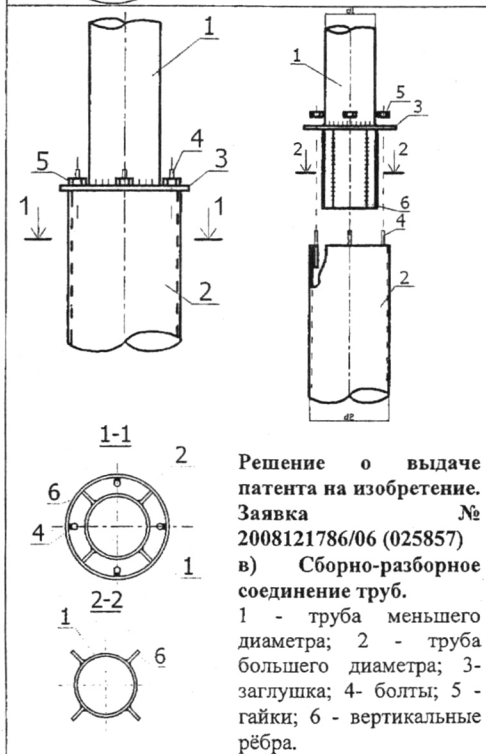
а) Соединение при помощи щелевых прорезей на сварке.

1- труба меньшего диаметра; 2- труба большего диаметра; 3- пластины; 4 - щелевые прорези; 5- заглушка; 6- сварные швы



Патент РФ № 2337268

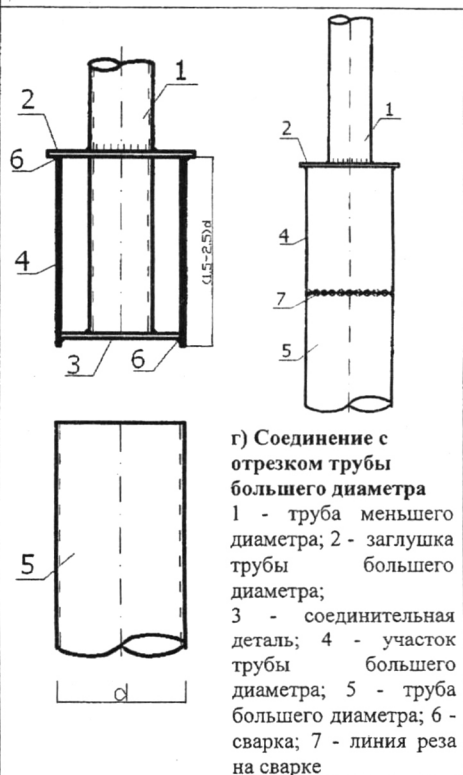
б) Соединение при помощи бетона, заполненного в кольцевую полость 1- труба большего диаметра; 2 - труба меньшего диаметра; 3-торцевая фланска; 4- заглушка; 5- заполнитель (н-р, бетон)



Решение о выдаче патента на изобретение. Заявка № 2008121786/06 (025857)

в) Сборно-разборное соединение труб.

1 - труба меньшего диаметра; 2 - труба большего диаметра; 3- заглушка; 4- болты; 5 - гайки; 6 - вертикальные ребра.



г) Соединение с отрезком трубы большего диаметра 1 - труба меньшего диаметра; 2 - заглушка трубы большего диаметра; 3 - соединительная деталь; 4 - участок трубы большего диаметра; 5 - труба большего диаметра; 6 - сварка; 7 - линия реза на сварке

Рис 5. Новые узловые решения соединений труб разного диаметра

Исследования НДС соединений труб разного диаметра позволили установить также зависимость усилий в узле от глубины посадки ( $h$ ) труб друг в друга (Рис.3). Анализ этих данных позволил сделать вывод, что при величине посадки труб  $h=2-2.3d$  (где  $d$  – диаметр меньшей трубы) усилия практически стабилизируются. Поэтому указанная величина посадки труб рекомендована для практического использования, как наиболее рациональная.

В третьей главе рассмотрены новые конструктивные решения соединений труб разного диаметра и приведены результаты численных исследований НДС известных и предлагаемых узлов соединений.

Новые конструктивные решения узлов относятся к группе соединений комбинированного типа и детально представлены на рис.5.

Численные исследования выполнялись по программным комплексам «Лира», ANSYS, целью которых являлось влияние особенностей конструктивного выполнения соединений труб разного диаметра на их НДС.

Для двухзвеньеовой опоры высотой 12м, состоящей из труб 273х5мм и 219х5мм, рассматривались варианты фланцевых соединений (Рис.1) и варианты предлагаемого комбинированного соединения (Рис.5,а). Исследования проводились с использованием вычислительного комплекса «Лира», в геометрически нелинейной постановке.

При рассмотрении известных фланцевых соединений с использованием сварки установлена зависимость толщины от действующих усилий и диаметра применяемых труб (Рис.6,а).

В комбинированном соединении труб разного диаметра исследовалось НДС сварных швов, соединяющих телескопически установленные трубы. Полученные графики зависимости усилий от глубины ( $h$ ) посадки труб показывают, что при глубине посадки равной  $h=2-2.3d$  (где  $d$  – диаметр меньшей трубы) практически стабилизируются усилия (Рис.6,б), что совпадает с данными, полученными для телескопических соединений по программе «RASSTRUB – 07».

Для численного исследования НДС в программном комплексе ANSYS соединения труб разного диаметра, осуществлённого заполнением бетона в кольцевую полость, было смоделировано 3 модели фрагмента двухзвеньеовой опоры.

Первая модель представляет собой соединение посредством фланца на сварке. Вторая модель – комбинированное соединение при помощи щелевых прорезей на сварке. Длина трубы меньшего диаметра 1240мм, а большего 800мм. Крепление одной трубы к другой осуществляется посредством пластинок в количестве 6 штук (Рис.5, а). Третья модель представляет собой комбинированные соединения труб разного диаметра (Рис.5,б), осуществленные заполнением бетона в кольцевую полость.

Физический закон деформирования стальной оболочки описывался четырьмя параметрами: модулем упругости  $E=206 \cdot 10^3$  МПа, касательным модулем  $E'=75 \cdot 10^3$  МПа, пределом текучести  $\sigma_{yn}=245$  МПа и коэффициентом Пуассона  $\nu=0,3$ . Закон деформирования бетона задавался двумя параметрами:  $E=25 \cdot 10^3$  МПа,  $\nu=0,2$ . При решении задач использовался метод Ньютона-Рафсона с обновлением матрицы касательной жесткости на каждой равновесной итерации: матрица будет



использоваться до тех пор, пока итерационный процесс остается устойчивым. При обнаружении расхождения в сходимости текущая итерация прерывается, и решение повторяется с использованием комбинации секущей и касательной жесткостей. Когда сходимость восстанавливается, то происходит возврат к использованию касательной жесткости.

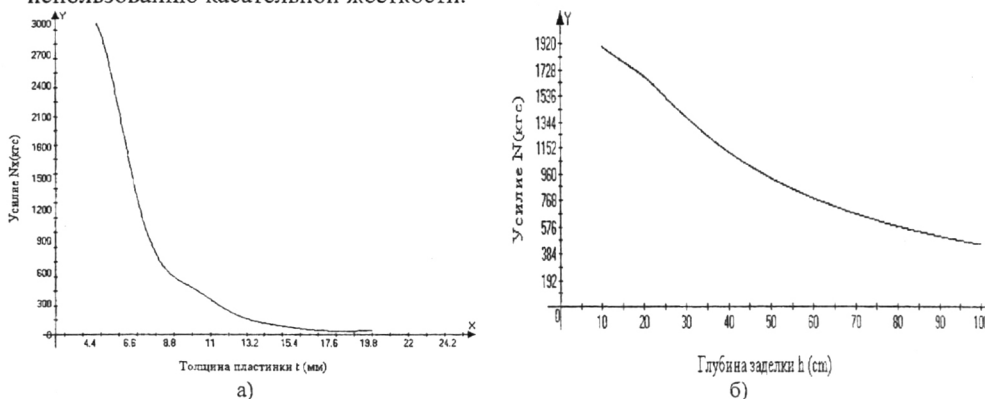


Рис. 6. Анализ НДС соединений труб разного диаметра, полученные на ПК «Лира»  
 а) График зависимости  $N_x$  от толщины пластинки б) График зависимости  $N$  от глубины заделки  $h$

Сопрягаемые стальные элементы соединений моделировались оболочечными конечными элементами Shell43, позволяющими решать нелинейную задачу теории пластичности. Бетон заполнения стыка моделировался объемными конечными элементами Solid45. Причем бетону задавались свойства изотропного материала. При этом рассматривались варианты задачи: когда бетон имеет сцепление с поверхностью оболочки, и когда такое сцепление отсутствует.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям, целью которых является изучение действительной работы и определение фактического напряжённо – деформированного состояния соединений труб разного диаметра. Экспериментальные исследования выполнялись на натуральных образцах. Образцы представляют собой варианты узловых соединений труб разного диаметра двухзвеньевой осветительной опоры (Рис.7).

**1 образец:** В качестве нижнего звена принято сечение: труба 325х10, верхнего: труба 219х9. Толщина фланца 10 мм. Длина труб принята равной 800 мм.

**2 образец:** В качестве нижнего звена принято сечение тр. 325х10, верхнего тр. 219х9. Толщина верхней торцевой фасонки 8мм, нижней поддерживающей пластины 6мм. Длина нижнего звена 800мм, верхнего 450мм. Глубина заделки 2d (438мм). Кольцевая полость труб заполнена бетоном класса В15.

**3 образец:** Нижнее звено принято сечение тр. 325х10, верхнее тр. 219х9. Толщина торцевой фасонки 8 мм. Длина нижнего звена 800мм, верхнего 450мм. Глубина заделки 2d (438мм). На трубу меньшего диаметра установлены кольцевые элементы диаметром 45мм и толщиной 3мм, через прорези шириной 7мм наложены сварные швы длиной 60мм (6шт).

Для уточнения механических свойств стали труб были проведены испытания вырезанных образцов согласно ГОСТ 1497-84, и установлено, что материал соответствует классу стали С245.

Испытания проводились на прессе УММ-200 №107, для чего образцы укладывались на две опоры и загружались ступенчатой сосредоточенной силой до разрушения.

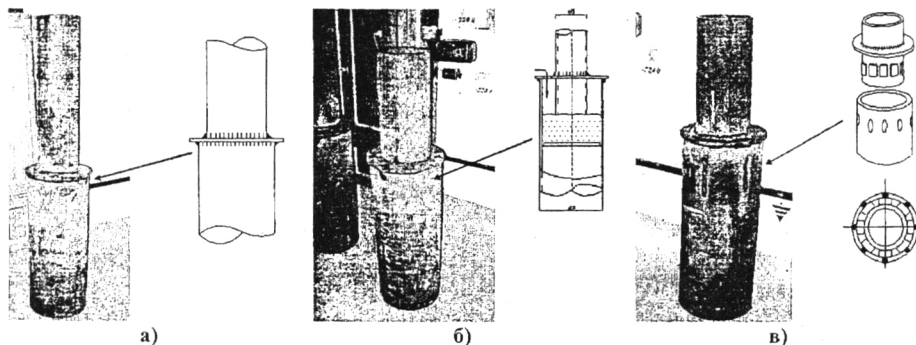


Рис.7. Опытные образцы с различными видами узловых решений. а) соединение при помощи фланца на сварке, б) соединение труб разного диаметра, осуществлённое заполнением бетона в кольцевую полость, в) соединение «труба в трубе» при помощи шелевых прорезей на сварке

Прогибы измерялись с помощью индикатора часового типа с ценой деления - 0.01мм. Для определения напряжённого состояния по поверхности труб обоих диаметров на торцовую пластинку наклеивались электротензорезисторы (ПКС-5-120, коэффициент тензочувствительности 2.12), которые подключались к цифровой тензостанции ММТС-64.01. Схема загрузки образцов и расположение измерительных приборов приведены на рис.8.

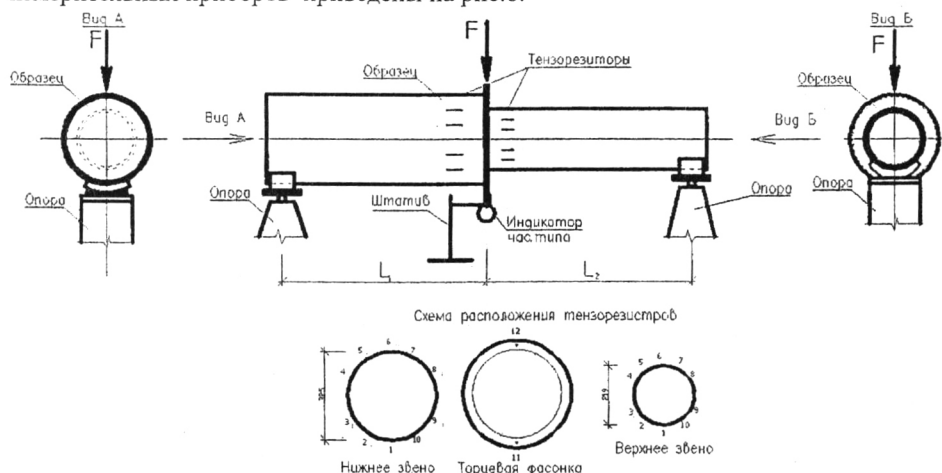
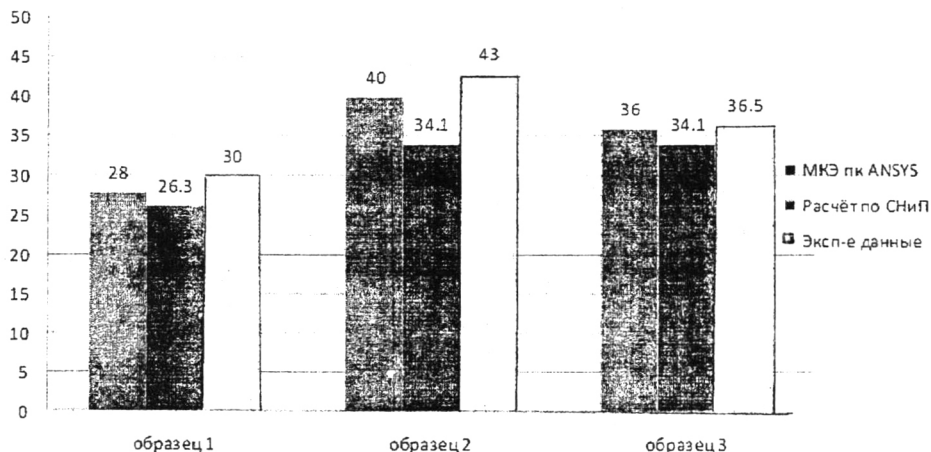


Рис.8. Схема загрузки образцов и расположение измерительных приборов

Теоретическая несущая способность соединений определялась методом МКЭ по вычислительным комплексам «Лира» и ANSYS, а также и по формулам СНиП. Значения расчётных и экспериментальных нагрузок приведены на рис.9. Нагрузки, полученные по МКЭ, меньше экспериментальных, и расхождение составляет 1.5-7%. Далее, сравнивая экспериментальные и теоретические данные, видим расхождение, составляющее 7-20.6%.



**Рис.9. Несущая способность соединений труб разного диаметра. (Сравнение результатов расчёта по МКЭ, теоретически и экспериментально). Образец 1 – соединение встык при помощи торцевой фасонки; образец 2 – соединение труб разного диаметра, осуществлённое заполнением бетона в кольцевую полость; образец 3 – соединение «труба в трубе» при помощи щелевых прорезей на сварке**

В пятой главе рассматриваются технико-экономические показатели, и даются практические рекомендации по расчёту труб разного диаметра. Техничко-экономическая оценка определяется по таким показателям как расход стали, трудоёмкость изготовления и стоимость.

Рассмотрены двухзвенные опоры освещения высотой 21м с разными узловыми соединениями звеньев (Рис.10): а) соединение посредством торцевой фасонки; б) соединение труб разного диаметра, осуществлённое заполнением бетона в кольцевую полость; в) соединение при помощи щелевых прорезей; г) соединение труб без бетона с приваркой заглушки меньшей трубы.

Верхнее звено высотой 16.55 метра тр219х6 мм, нижнее звено высотой 4.8 метров тр. 325х7 мм.

Цена 1 метра трубы 219х6мм – 2018.58руб, трубы 325х7мм – 3033.44руб, труба 42х3 – 202.83руб. Цена листовой стали толщиной 6-8мм 20650 руб. за тонну, толщиной 20мм 25400руб. (Средние цены металлопроката на апрель 2009 года в г. Казани).

Результаты технико-экономической оценки четырёх типов узлов показали, что новые комбинированные узлы по материалоёмкости, трудоёмкости и стоимости изготовления оказались более рациональными (Рис.11-14).

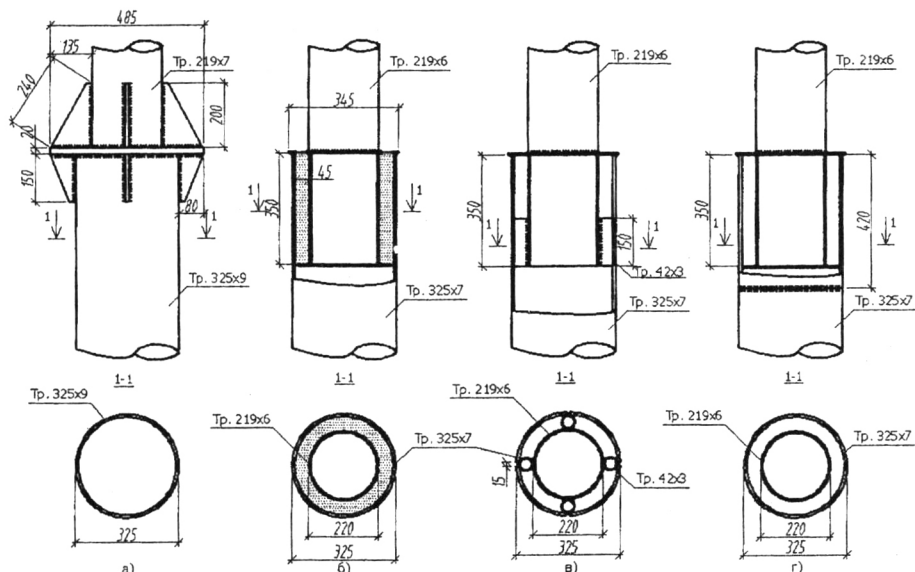


Рис.10. Варианты узлов соединений труб разного диаметра в составе двухзвеньеовой опоры высотой 21м

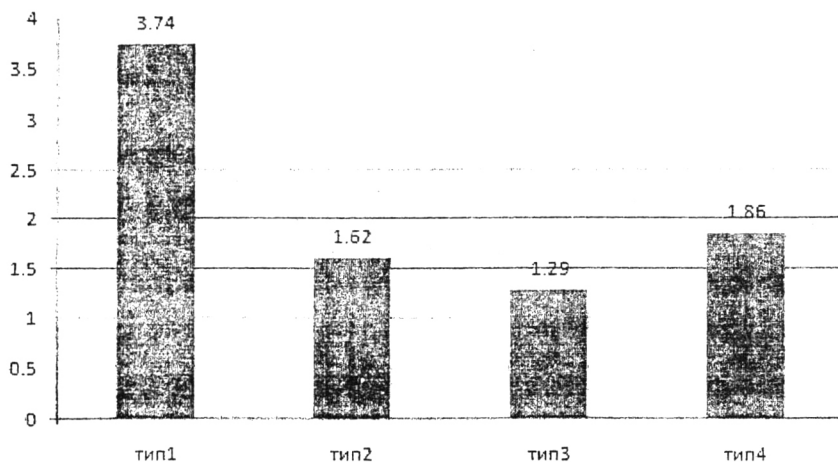


Рис.11. Гистограмма распределения затраты труда. Тип 1 – соединение встык при помощи торцевой фасонки; тип 2 – соединение труб разного диаметра, осуществлённое заполнением бетона в кольцевую полость; тип 3 – соединение «труба в трубе» при помощи щелевых прорезей на сварке; тип 4 – соединение труб без бетона с приваркой заглушки меньшей трубы

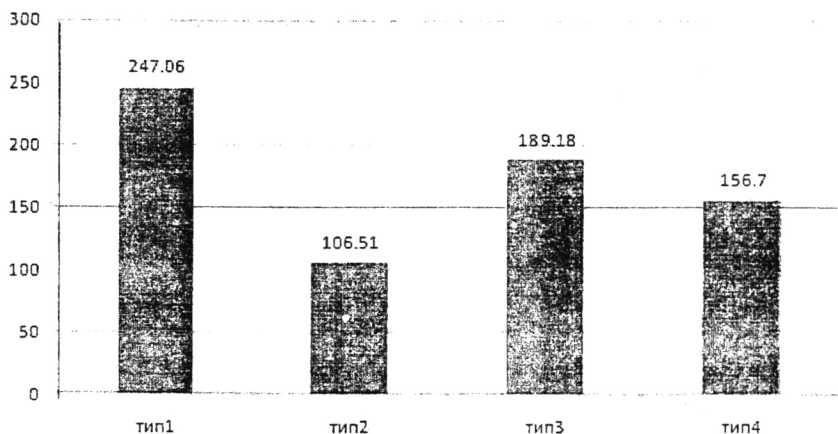


Рис.12. Гистограмма распределения стоимости изготовления. Тип 1 – соединение встык при помощи торцевой фасонки; тип 2 – соединение труб разного диаметра, осуществлённое заполнением бетона в кольцевую полость; тип 3 – соединение «труба в трубе» при помощи щелевых прорезей на сварке; тип 4 – соединение труб без бетона с приваркой заглушки меньшей трубы

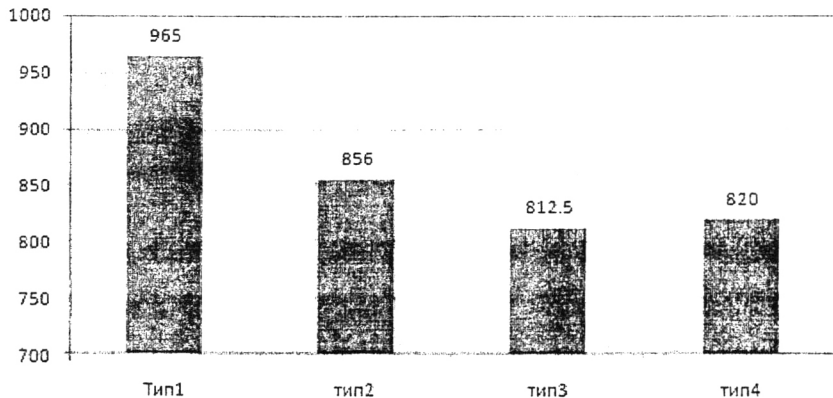
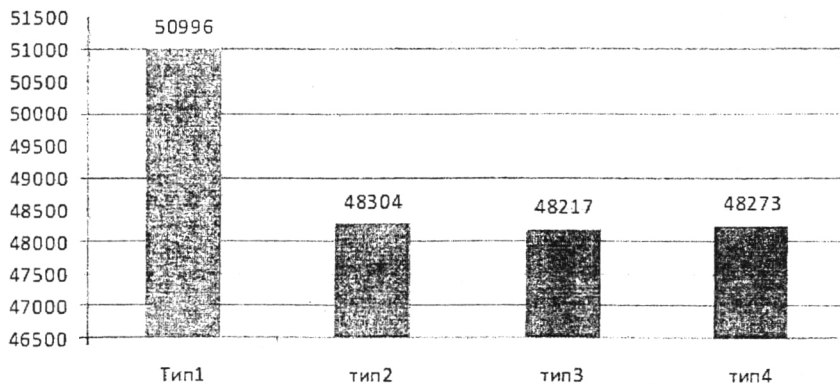


Рис.13. Гистограмма распределения массы опоры с различными типами соединений труб разного диаметра. Тип 1 – соединение встык при помощи торцевой фасонки; тип 2 – соединение труб разного диаметра, осуществлённое заполнением бетона в кольцевую полость; тип 3 – соединение «труба в трубе» при помощи щелевых прорезей на сварке; тип 4 – соединение труб без бетона с приваркой заглушки меньшей трубы



**Рис.14.** Гистограмма распределения цены материала. Тип 1 – соединение встык при помощи торцевой фасонки; тип 2 – соединение труб разного диаметра, осуществлённое заполнением бетона в кольцевую полость; тип 3 – соединение «труба в трубе» при помощи щелевых прорезей на сварке; тип 4 – соединение труб без бетона с приваркой заглушки меньшей трубы

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

1. Проведённый анализ опыта применения соединений труб разного диаметра, установил широкое применение данных соединений при строительстве башен, мачт, опор контактных сетей электротранспорта, при этом их многообразие можно объединить в четыре группы: фланцевые; телескопические; с переходными деталями и комбинированного типа.
2. Впервые разработана аналитико-численная методика определения напряжённо-деформированного состояния соединений круглых труб разного диаметра при плотной их посадке одной в другую, и составлена программа «RASSTRUB-07» реализующая данную методику.
3. Расчёты НДС телескопических соединений по программе «RASSTRUB-07» показали, что рациональная посадка труб друг в друга находится в пределах  $2 \div 2.3d$ , где  $d$  - диаметр меньшей трубы.
4. Предложены четыре новых соединения труб разных диаметров комбинированного типа, позволяющие соединять трубы с разницей в диаметрах  $d_1/d_2 = 0.4 \div 0.9$ . Их конструктивная новизна защищена патентами РФ. При этом при соотношении диаметров  $d_1/d_2 = 0.8 \div 0.9$  крепление труб осуществляется за счёт щелевых прорезей на сварке, а при соотношении  $d_1/d_2 = 0.4 \div 0.6$  трубы крепятся за счёт заполнения бетона в кольцевую полость.
5. Численные исследования НДС по программным комплексам «Лира», ANSYS узлов соединения труб с соотношением диаметров в пределах  $d_1/d_2 = 0.4 \div 0.9$  показали, что рациональная глубина посадки находится также в пределах  $2 \div 2.3d$ , где  $d$  - диаметр меньшей трубы.
6. Экспериментальные исследования соединений труб разного диаметра показали, что фактическая несущая способность известных соединений при помощи

сварного фланца, а также предлагаемые соединения при помощи щелевых прорезей на сварке и соединения, осуществленные заполнением бетона в кольцевую полость, соотносятся как: 100%, 120%, 143%, при этом расхождение с теоретической несущей способностью указанных узлов не превышала 7%.

7. Проведенные технико-экономические сравнения различных узлов соединения труб разного диаметра выявили эффективность предлагаемых узлов соединения по различным критериям, таким как материалоемкость, трудоёмкость и стоимость в деле.
8. Предложены практические рекомендации по проектированию и расчёту соединений труб разного диаметра, которые апробированы при разработке опор светосигнального оборудования, рекламных конструкции, опор освещения Ярактинского месторождения нефти (Иркутская область), опор контактных сетей электротранспорта и др., что подтверждается соответствующими справками и актами о внедрении.

**Основное содержание работы опубликовано в 15 работах, из которых: 9, 11 опубликованы в журналах, включённых в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых ВАК:**

1. Сабитов, Л.С. Исследование и проектирование телескопических соединений / Сабитов Л.С. // Материалы 58-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 2006.- С. 132-135.

2. Сабитов, Л.С. Новый способ соединения труб разных диаметров / Сабитов Л.С. // Материалы 59-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 2007.- С. 68-72.

3. Сабитов, Л.С. Исследование соединений труб разного диаметра / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Материалы 5-ой международной научно – технической конференции, 29-30 ноября 2006г. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2006, - С. 123-125.

4. Сабитов, Л.С. Новые эффективные способы соединений стальных труб разного диаметра / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Исаев А.В., Гилязова А.К. // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Материалы 7-ой международной научно – технической конференции, май 2008г. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2008, - С. 52 – 55.

5. Сабитов, Л.С. Расчёт составных труб / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Камалов А.З. // Материалы всероссийского семинара, посвященного столетию Аминова Монгима Шакуровича, февраль 2008г. – Казань: Изд-во КГТУ им А.Н.Туполева, 2008, - С. 72-73.

6. Сабитов, Л.С. Соединение труб разного диаметра / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. // Межвузовский сборник научных статей, март 2008г. - Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2008, - С. 66-70.

7. Сабитов, Л.С. К вопросу о способах соединений стальных труб разного диаметра / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Исаев А.В. // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство-2008»,

10 -  
г.Ростов-на-Дону, апрель 2008г. - г.Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ, 2008, - С. 60 – 61.

8. Сабитов, Л.С. «Исследование и разработка соединений труб разного диаметра» / Сабитов Л.С. // Материалы республиканского конкурса научных работ студентов и аспирантов на соискание премии Н.И.Лобачевского, февраль 2008г. – Казань: Изд-во КГУ им. В.И.Ленина, 2008, - С.15 – 17.

9. Сабитов, Л.С. Разработка и исследование соединений труб разного диаметра / Сабитов Л.С. // Известия КазГАСУ -2008г, №1(9), С. 102-105.

10. Сабитов Л.С. «Напряженно – деформированное состояние узла соединения труб разного диаметра» / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Камалов А.З., Хусаинова Д.М. // Научно-технические проблемы прогнозирования надёжности и долговечности конструкций и методы их решения: Труды 7-й международной конференции, 2008г.- Санкт-Петербург: Изд-во СПбГПУ, 2008, - С. 296-299.

11. Сабитов, Л.С. НДС соединения труб разного диаметра / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Камалов А.З. // Вестник ИрГТУ г. Иркутск, №2 (34) Июнь, 2008г, С. 42-49.

12. Камалов, А.З. Расчёт сооружений, составленных из вертикальных труб, на изгиб и сжатие / Камалов А.З., Кузнецов И.Л., Сабитов Л.С.// Журнал на татарском языке «Фэн хэм тел» (наука и язык), г. Казань. №1(36), 2008, С. 62-64.

13. Кузнецов, И.Л. Пат.РФ № 2288399 от 07.04.2005. М. Кл. F 16 L 13/00, E 04 B 1/58 Узел соединения труб. Кузнецов И.Л., Исаев А.В., Сабитов Л.С. Оpubл. 27.11.2006. Бюл.№ 33.

14. Кузнецов, И.Л. Пат. РФ №2337268 от 28.03.2007. М. Кл. F 16 L 13/00, E 04 B 1/58 Способ соединения труб разного диаметра. Кузнецов И.Л., Сабитов Л.С., Исаев А.В., Оpubл. 27.10.2008. Бюл.№ 30.

15. Кузнецов, И.Л. Решение о выдаче патента на изобретение. Заявка № 2008121786/06 (025857), дата подачи 22.05.2008. Узел соединения труб разного диаметра. Кузнецов И.Л., Сабитов Л.С.

Корректурa автора

Подписано в печать 21.08.09.

Формат 60x84/16

Печать RISO

Заказ № 449.

Тираж 100 экз.

---

ПМО КазГАСУ, 420043, Казань, ул. Зеленая, 1